

# 応用要素法を用いた PC 鋼棒の破断突出解析と舗装の突出抑制効果の基礎的検討

横浜国立大学 ○福原 冨基 正会員 細田 暁 カイロ大学 Hamed SALEM  
 首都高速道路株式会社 正会員 蒲 和也 正会員 深谷 卓央

## 1. 研究背景と目的

ポストテンション方式 PC 橋において PC 鋼棒が腐食破断すると、橋梁外に突出し第 3 者被害につながる可能性がある。首都高速道路では鋼棒長の長い横締め PC 鋼棒の突出対策は順次実施されているが、鋼棒長が比較的短い鉛直締め PC 鋼棒については、突出リスクの評価を行った上で、過剰とにならないように適切な対策の検討を進めている。本研究では PC 鋼棒の破断・突出現象に関する既往の実験を数値シミュレーションで再現した上で、鉛直締め PC 鋼棒に対して床版上面の舗装が突出を抑制する効果を調べた。

## 2. PC 鋼棒の破断・突出現象のモデル構築とシミュレーション結果

本研究に用いる数値解析手法は応用要素法である。この手法では要素自体は変形せず要素間に分布するバネに材料特性を与える特徴を持つ。この手法により構造物が崩壊に至るまでの破壊現象を高精度で追跡可能であることが知られているが、PC 鋼棒の突出速度は非常に速いと考えられ、このような高速の現象への適用はいまだなされていない。解析コードは ASI 社の Extreme Loading for Structures (以下、ELS という。)を使用した。

既往の横締め PC 鋼棒の突出実験<sup>1)</sup>を数値シミュレーションで再現した。図-1 に突出実験の概要を示す。地覆を模したコンクリートを設けた実物大の床版供試体において PC グラウト未充填区間を変化させた 4 本の PC 鋼棒を破断・突出させた実験である。この中で破断長が 7.7m (PC グラウト充填度 0%) と最も長いケースをシミュレーションした。実験では PC 鋼棒は突出し、図-1 に示すようにかぶりの激しい破壊と供試体端部の欠

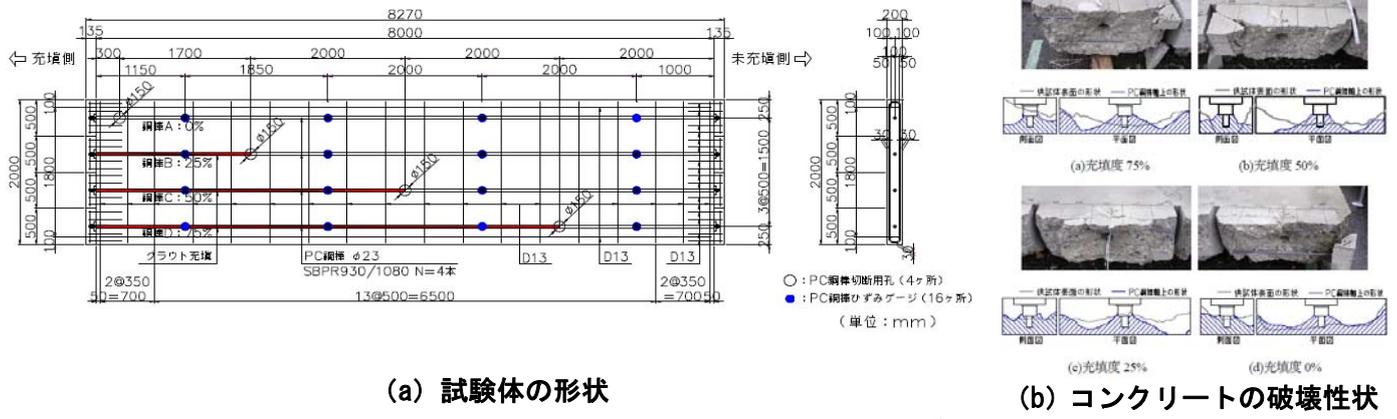


図-1 横締め PC 鋼棒の突出実験の概要<sup>1)</sup>

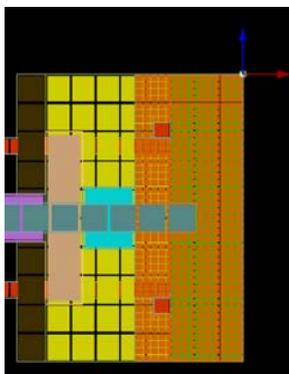


図-2 モデル断面図

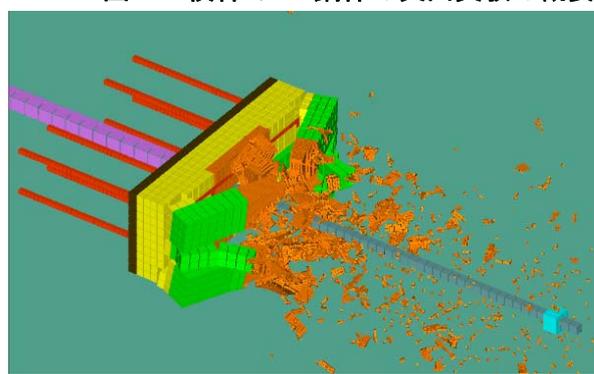


図-3 解析結果外観

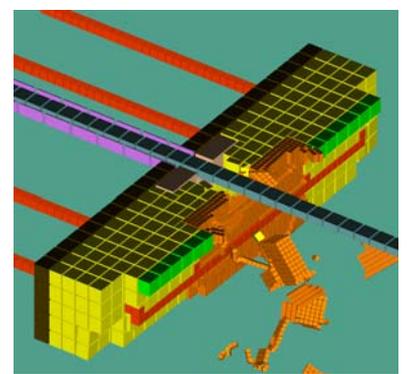


図-4 PC 鋼棒中心近傍の破壊性状

キーワード 応用要素法, 鉛直締め PC 鋼棒, 破断突出, アスファルト, 突出抑制効果

連絡先 〒240-8541 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL:045-339-4044

けが確認された。PC 鋼棒の破断は緊張後に要素を削除することで再現した。また、支圧板—ナット間の境界バネとして、引張を受け持たず、圧縮とせん断に対して抵抗する弾性材料であるベアリング材料を用いた（図-2 参照）。これによって緊張時にナットから支圧板に圧縮力が伝達され、突出時に支圧板—ナット間に引張力は作用せず、PC 鋼棒とナットのみが突出する現象を表現できる。

解析の時間ステップが結果に大きく影響することが分かり、 $1 \times 10^{-6}$  秒と小さく設定することによってコンクリートのかぶりが大きく破壊し、端部の欠けを含めて実験結果をよく再現できた。ナット前方からコンクリート表面にかけて 45 度の角度を持つ範囲の要素寸法を 5mm と小さくした。それ以外の範囲では 20mm の要素寸法とした。ELS ではコンクリートの破壊エネルギーを直接考慮できないため、簡易的にコンクリートの引張強度を 2 倍に設定した。また、PC 鋼棒が突出する瞬間、ナットと PC 鋼棒前方のコンクリートには大きな圧縮力が高ひずみ速度で作用する。ひずみ速度の影響を簡易的に考慮するために高ひずみ速度下におけるコンクリート強度<sup>2)</sup>をナット・PC 鋼棒—コンクリート間の境界バネに設定した。その際、数値解析結果で得られたひずみ速度が算定式の適用範囲の上限を超えていたため、適用範囲のひずみ速度の最大値を採用し、圧縮強度を  $84.4\text{N/mm}^2$ 、引張強度を  $3.70\text{N/mm}^2$  に設定した。これらを考慮した解析結果を、図-3 および図-4 に示す。ナット前方を起点としたコンクリートのコーン状の破壊が再現できた。

### 3. アスファルト舗装の突出抑制効果の基礎的検討

鉛直締め PC 鋼棒に対して舗装が有する突出抑制効果を検討した。図-5 に解析モデルを示す。コンクリート部材の寸法は  $2,000 \times 700 \times 135\text{mm}$  とした。図中の茶色要素が適用したアスファルト舗装であり、舗装厚は 4cm とした。PC 鋼棒の破断長は鉛直締め PC 鋼棒を想定して 3m に設定した。別途実施した  $20^\circ\text{C}$  での密粒度アスファルトの曲げ試験の結果に基づき、図-6 に示すように密粒度アスファルト混合物の引張応力ひずみ関係をモデル化した。図-7 に解析結果を示す。コンクリートと舗装の要素間の接触時の法線方向の接触剛性を大きく設定することで、PC 鋼棒は突出せずに舗装要素は最大 6mm の変形に留まる結果となった。アスファルト舗装は鉛直締め PC 鋼棒の突出を抑制する効果があると考えられる。今後、検討を深め、検証実験を行う予定である。

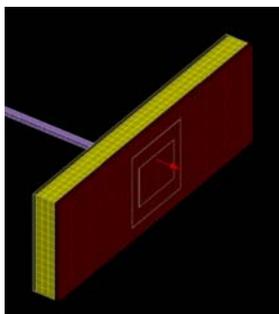


図-5 舗装の突出抑制効果検討モデル

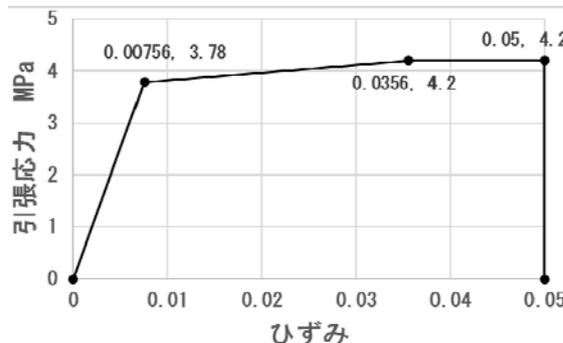


図-6 アスファルト混合物の引張応力—ひずみ関係

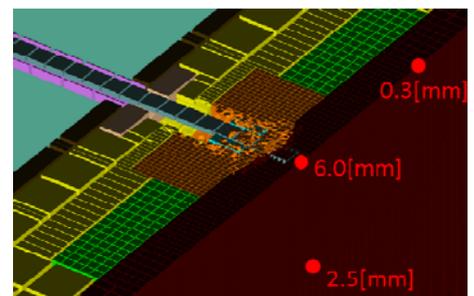


図-7 解析結果  
(赤点は舗装要素の突出方向変形量)

### 4. 結論

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 応用要素法を用いた PC 鋼棒の破断・突出現象の数値シミュレーションでは、時間ステップ、要素の寸法・形状の依存性、破壊エネルギーと高ひずみ速度下を考慮したコンクリート強度などが解析結果に大きな影響を及ぼした。既往の実験結果の破壊形態を数値シミュレーションで再現できた。
- 2) アスファルト舗装の曲げ試験結果に基づいて、アスファルト舗装をモデル化し、突出抑制効果を検討したところ、コンクリートと舗装要素の接触剛性を大きく設定することで、舗装の突出抑制効果が認められた。

### 参考文献

- 1) 中村英佑, 竹内祐樹, 渡辺博志, 木村嘉富: プレストレストコンクリート橋の横締め PC 鋼棒の突出確認試験, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.375-378, 2009.
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書「構造性能照査編」, pp.249-251, 2002.